

# Estudi tecnicoeconòmic de la utilització de vehicles elèctrics pel desplaçament de carregues lleugeres en l'àmbit aeroportuari

Alex Corredor Corredor

TFG, Grau en Enginyeria Elèctrica

## Resum

En aquest treball tractarem la possibilitat d'introduir els vehicles elèctrics en el món aeroportuari i ens centrarem en l'aeroport del Prat encara que també considerarem la situació en alguns grans aeroports d'Europa i Amèrica. Un cop avaluat el sector estudiarem el cas dels vehicles pel desplaçament carregues lleugeres, bàsicament pel desplaçament de maletes que són generalment vehicles de combustió interna.

Seguidament parlarem de la seva possible substitució per vehicles elèctrics, actualment ja hi ha alguns fabricants, com TLD-GSE o EAGLE TUGS que ofereixen aquest tipus de vehicles específics però la seva implantació, hores d'ara, és molt escassa. Un cop escollit el vehicle elèctric millor adaptat a la tasca en consideració, en aquest cas els tractors específics per remolcar maletes i petits avions de les empreses esmentades, TLD JET-16 i EAGLE MTT. Estudiarem les alternatives per la recàrrega d'aquests vehicles i la seva ubicació en l'aeroport, es veurà com aquesta varia molt en funció del nombre de vehicles i la velocitat d'introducció dels mateixos. A continuació estudiarem la viabilitat econòmica d'introduir els vehicles elèctrics per desplaçament de carregues lleugeres i demostrarem que el temps per recuperar la inversió és d'uns 5 anys. Per últim mostrarem els avantatges mediambientals del vehicle elèctric en front dels vehicles convencionals de combustió interna.

## 1. Introducció

La motivació principal per fer aquest projecte ha estat el créixer al costat de l'aeroport del Prat i ser un enamorat de les aeronaus. Ajuntar aquest fet amb l'enginyeria elèctrica no era difícil, però en comptes d'intentar fer-ho en els avions he decidit intentar millorar l'aeroport.

Per portar a terme aquesta millora, un cop parlat amb el tutor del projecte, vam veure que el millor era centrar-se en millorar els vehicles de terra i en concret els vehicles per a carregues lleugeres (tractors). Hi ha un gran nombre d'aquests vehicles i passen moltes hores donant servei als avions. Això comporta l'emissió de gasos contaminants junt amb una contaminació sonora, que afecta molt als treballadors i a les poblacions dels voltants.

El fet de tractar amb treballadors de l'aeroport ha diari em va donar la oportunitat de veure quines queixes tenien sobre aquest món i com la principal molèstia era el soroll en les

àrees de treball, en concret el soroll no causat per avions sinó per tots els vehicles que es mouen o que estan engegats.

## 2. Situació actual

Actualment ens trobem amb una situació marcada per la crisi econòmica que fa que la majoria d'empreses no mirin per altre cosa que els seus comptes de resultats. Això està comportant unes reduccions no només en la inversió sinó també en la qualitat dels serveis que ofereixen, que porta a l'acomiadament de personal i a la no renovació dels equips i vehicles.

Davant aquest fet ens trobem que la majoria de vehicles pel transport de carregues lleugeres tenen ja molts anys d'antiguitat i són poc eficients. Fet que comporta greus problemes de contaminació en un àrea, l'Àrea Metropolitana de Barcelona, on molts cops l'any es superen els nivells de contaminació màxims recomanats.



**Figura 1** Planol de l'aeroport amb les terminals

D'altra banda cal recordar que a l'aeroport del Prat, Figura 1, després dels atemptats de l'11 de setembre de 2001 als Estats Units d'Amèrica, el nombre de vols va caure molt i aquest fet junt amb la crisi econòmica van fer que l'aeroport del Prat reduís molt en seu nombre d'operacions. Per sort aquesta tendència s'està invertint i ara ens trobem que l'aeroport creix, l'últim trimestre del 2013 va ser l'aeroport amb més operacions de l'estat Espanyol [2], i si aquesta tendència es consolida faran falta més vehicles, així com la renovació dels més antics.

## 3. Política ambiental

Aena com a gestor de l'aeroport es l'encarregat de dictar les normes i a més a més es part en tots els concursos de

l'aeroport el que li confereix una posició de poder per marcar les directrius en matèria ambiental a la resta d'empreses que hi treballen.

Aena va començar fa uns anys uns canvis dins la seva política i va fer un gir cap a una reducció de l'impacte ambiental en tots els àmbits dins l'aeroport [1]. Gràcies a això ens trobem amb noves rutes per als avions on s'aconsegueix reduir el soroll i de la potència per aterrar. D'altra banda tenim la introducció de equips generadors de baixes emissions com pot ser la nova central de cogeneració de Madrid-Barajas, la instal·lació d'aerogeneradors a prop d'alguns aeroports o el programa pilot de vehicles elèctrics on l'aeroport del Prat ha estat dotat amb 8 cotxes i 2 furgonetes totalment elèctriques perquè els empleats d'Aena realitzin les seves tasques. Per tant gràcies a la posició de poder i la nova política ambiental ens trobem que Aena està fomentant en tots els nous concursos de serveis dels aeroports les incursions de clàusules ambientals, com pot ser el límit d'emissions per la flota de vehicles o la inclusió de cert nombre de vehicles amb emissions locals zero. En aquesta línia es podria enquadrar la proposta que fem en aquest treball fi de grau.

## 4. Aeroports del món

Aquesta nova política mediambiental la trobem arreu del món, un exemple pot ser l'associació americana Airports Going Green, que busca fomentar la implantació de mesures que ajudin a millorar l'impacte ambiental dels aeroports i les seves operacions. Un membre important d'aquesta associació es l'aeroport de Chicago O'Hare, ja que en ser un dels més importants del món està fent, sobretot als Estats Units, que molts altres segueixin el seu exemple. Però el model a seguir el trobem molt més a prop, a l'aeroport d'Frankfurt. Aquest aeroport té des de fa anys programes per reduir l'impacte ambiental i per la introducció dels vehicles de zero emissions. En la actualitat ja compta amb 15 punts de càrrega per als vehicles elèctrics i fins a un 10% dels vehicles destinats a càrregues lleugeres ja són elèctrics [3]. L'aeroport de Frankfurt junt amb el govern regional i nacional, estan duent a terme moltes campanyes per donar a conèixer les bondats del vehicle elèctric, no només en l'àmbit aeroportuari sinó també en l'ús diari. Algunes campanyes han posat vehicles de lloguer per desplaçar-se per la ciutat, així com mitjans de transport més ecològics per anar i tornar de l'aeroport com poden ser els trens, autobusos i taxis tant elèctrics com híbrids.

## 5. Vehicles actuals

Els vehicles pel desplaçament de càrregues lleugeres que trobem actualment als aeroports són vehicles molt específics per la seva tasca, propulsats per motors de combustió interna de gasolina, dièsel o gas.



Figura 2 Vehicle convencional TLD JST-20

Un exemple de vehicle actual es el TLD JST-20, que porta un motor dièsel de 3.3l i 48kW de potència, amb un dipòsit de 60l. Té una força de 20,000N, encara que té un pes de 3.420Kg, el que no ajuda gaire a obtenir uns consums reduïts.

Aquests vehicles no són gaire eficients ja que com a vehicle industrial especialitzat que són el que es busca és que tinguin la força de tracció necessària i que siguin el més resistents possible per suportar l'ús intens, junt amb un preu d'adquisició el més reduït possible. La forma de treball d'aquests vehicles es poc habitual ja que es desplacen distàncies curtes i passen gran part del temps aturats. És per això que cal estudiar la seva millora i substitució.

## 6. Vehicles elèctrics

Donades les necessitats tan específiques d'aquest tipus de vehicles que no requereixen disposar de gaire autonomia però sí d'una important força tractors. La millor opció és un vehicle Elèctric que a més a més serà més respectuós amb el medi ambient.

Certament el vehicle híbrid podria ser una solució, però ho és més en els cotxes d'ús particular en els quals el que cal és una important autonomia. Per tant en el cas dels vehicles estudiats no ens aporta cap avantatge la seva consideració.

El principal handicap que tenen els vehicles elèctrics és el seu elevat cost inicial. Això ve donat principalment per les bateries, la tecnologia actual de les quals les fa costoses, pesades i amb una reduïda autonomia.

D'altra banda tenen el gran avantatge de no requerir gaire manteniment i tenir un cost d'operació molt més baix. Aquesta reducció en el cost d'operació ve donat principalment pel preu de l'electricitat respecte dels combustibles fòssils.

A més a més ens trobem davant més ecològics, amb una important reducció de les emissions a l'atmosfera i de soroll.



Figura 3 Vehicle elèctric EAGLE MTT

Un dels vehicles escollits és el model EAGLE MTT que porta un motor elèctric, Schabmuller, 80V A/C Brushless de 30kW. Aquest motor té una força de 22680N, i en la configuració habitual de bateria de 800Ah té un pes aproximat de 3 tones. Com podem veure les característiques són molt similars als del vehicle convencional i no hi ha cap handicap en quant a prestacions.

## 7. Implantació del vehicle elèctric

Per introduir el vehicle elèctric a l'aeroport Aena, com s'ha dit abans, ja ha donat el primer pas utilitzant 10 vehicles elèctrics per les seves necessitats. Ara és el torn de les empreses prestadores de serveis les que han de donar el pas i per fer-ho em dissenyat un pla dividit en tres fases. Per

implementar aquestes fases em establert la condició de que Aena inclourà en els propers concursos les clàusules ambientals esmentades amb anterioritat i que segons passi el temps s'aniran tornant més restrictives.

#### **- FASE INICIAL**

En aquesta primera fase, de 3 anys de durada, l'objectiu es donar a conèixer a les empreses prestadores de serveis els avantatges del vehicle elèctric i que els seus treballadors s'habituin a fer-los servir i puguin comprovar en primera persona el seu comportament.

Es per això que cadascuna de les tres grans empreses comptaria amb 5 vehicles cadascuna. Aquest nombre de vehicles ha estat escollit per aconseguir que fos una xifra prou gran com per que es notes l'impacte dels vehicles elèctrics i no fos merament testimonial o propagandístic.

#### **-FASE CREIXEMENT**

En aquesta fase es busca una major implantació del vehicle elèctric un cop comprovats els seus avantatges en la fase inicial. És també la fase on recuperarem totalment la inversió dels vehicles adquirits en la primera fase.

Les empreses es troben amb la necessitat de continuar complint amb les normes imposades per Aena, junt amb la necessitat d'anar renovant equips que van quedant fora de servei. El substitut d'aquest vehicles seria l'elèctric del qual ja han vist els seus avantatges tant laborals (major confort de marxa, degut a la manca de vibracions, i silencis) com econòmics, que es el que busquen les empreses.

#### **-FASE FINAL**

Aquesta última fase busca consolidar el vehicle elèctric com a vehicle principal. Gracies al canvi de mentalitat i a les polítiques ambientals junt amb els avantatges econòmics fan que el vehicle elèctric sigui la primera opció per totes les empreses.

També cal destacar l'evolució dels propis vehicles i de les tecnologies que incorporen, que en ser millorats i produïts en major quantitat fan que el seu handicap del preu de compra inicial es vegi reduït. Junt amb el continu increment dels combustibles fòssils.

Tot junt fan que econòmicament el vehicle elèctric sigui encara més viable.

### **8. Xarxa de càrrega**

Tots aquests vehicles elèctrics necessiten punts de càrrega per el subministrament de l'energia necessària per el seu funcionament.

El desenvolupament de la xarxa de càrrega anirà lligada al creixement del vehicle elèctric. I com a tal segueix les mateixes fases que aquest.

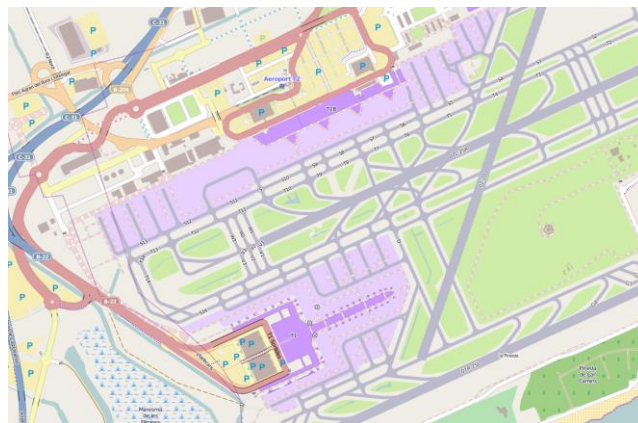
En una primera fase s'instal·laran punts de recarrega lents per carregar els vehicles durant la nit i les hores on estan fora de servei. Aquests punts s'instal·laran a sota de la terminal 1 o en cas de ser necessari a sota de totes dues terminals, quedant d'aquesta manera els vehicles una mica més protegits de les inclemències del temps durant el procés de càrrega.



**Figura 4** Pal de càrrega Circutor RVE-P

Un model de torre de recàrrega seria el proposat per l'empresa Circutor, en concret el model RVE-PM1 que te dos connectors de 3,6kW (16A/230V), aquests ens permeten recarregar completament les bateries en un període de 8h (durant la nit, fora de les hores de servei)

En les següents fases s'instal·laran junt amb els punts de recarrega lents, uns punts de recarrega ràpida per en cas de ser necessari durant la jornada de feina, recarregar els vehicles de forma ràpida mentre estan aturats fent les operacions de càrrega i descàrrega de maletes.



**Figura 5** Mapa de l'aeroport amb les zones diferenciades

Aquests nous punts s'aniran distribuint per les zones de color morat del mapa a les zones més properes a les terminals.

La protecció d'aquestes xarxes també s'anirà adaptant a les potències requerides ja que en un primer moment es bastant baixa, però si els vehicles elèctrics s'imposen a l'aeroport caldria adaptar la instal·lació i s'hauria d'estudiar la instal·lació de fonts renovables d'energia o d'una petita central de cogeneració com la ja esmentada en operació a Madrid.

El sistema de càrrega estudiats són els més habituals a dia d'avui, encara que s'espera que els sistemes de recarrega en corrent continu de alta potència comencin a estendre ràpidament.

### **9. Estudi econòmic**

L'estudi econòmic el podem dividir en diverses parts:

#### **COST D'ADQUISICIÓ**

Aquí ens trobem amb el principal problema dels vehicles elèctrics a data d'avui. Tenen un cost d'adquisició molt elevat (30.000€ per terme mig) comparat amb els vehicles equivalents amb motor de combustió interna (20.000€). Com podem veure el seu preu és 1,5 vegades el d'un

convencional, agafant sempre els models estàndard, ja que a tots dos tipus de vehicles se'ls poden afegir infinitat d'accessoris. .

Es per tant el punt crític a l'hora de convèncer una empresa que la inversió que suposa el vehicle elèctric acabarà reportant-li beneficis.

### COST D'OPERACIÓ

Aquí ens trobem dos grans grups el cost del combustible i el seu consum, i el cost de manteniment del vehicle.

En tots dos casos surt guanyador el vehicle elèctric ja que el preu del gasoil es de 0,74€/l [4] i el de l'electricitat 0,15€/kWh [5] i encara que no es poden comparar directament, podem veure clarament que el dièsel es molt més costos en comparació.

En la comparativa de costos de manteniment torna a sortir guanyador el vehicle elèctric ja que en tenir sistemes més fiables i que requereixen menys manteniment, generalment només requereix manteniment preventiu, el cost anual del manteniment i les reparacions es bastant més baix.

També cal dir que el principal component a fallar son les bateries, però que aquestes tenen una vida útil bastant llarga , sobre els 3000 cicles, i pot arribar més que el propi vehicle en servei.

### AMORTITZACIÓ

Com em vist anteriorment els costos d'operació són molt més baixos, cosa que fa que dia a dia anem recuperant la inversió. Per fer aquests càlculs he agafat un interès bancari del 2% ja que aquestes empreses mouen molts diners i els hi donen condicions especials. Recuperarem la inversió aproximadament als 5 anys d'ús, tot dependrà de l'increment de preu de l'electricitat i dels combustibles fòssils, i de la millora en les tecnologies que abaratiria el preu de compra inicial i per tant menys temps d'amortització.

### ESTUDI DE LA VIABILITAT

En primer lloc avaluem el flux de caixa teòric que obtindríem de la utilització del vehicle elèctric en front el vehicle convencional. Podem veure un cop més com cada any obtenim majors beneficis pel fet d'utilitzar un vehicle elèctric.

Any	Flux	Amortització
0	-55.000,00 €	
1	9.256,60 €	-45.743,40
2	10.427,67 €	-35.315,73
3	11.724,48 €	-23.591,25
4	13.159,56 €	-10.431,69
5	14.746,65 €	4.314,96
6	16.500,83 €	20.815,80
7	18.438,60 €	39.254,40
8	20.578,02 €	59.832,42
9	22.938,91 €	82.771,33
10	25.542,94 €	108.314,27

**Taula 1** Flux de caixa i amortització

D'altre banda farem l'estudi més tècnic en el camp econòmic que es el càlcul del VAN i del TIR que són els dos principals indicadors de la viabilitat econòmica d'un

projecte i que també serveixen per comparar-lo amb d'altres projectes.

	VAN	TIR
<b>6 anys</b>	15.312,25 €	9,038%
<b>5 anys</b>	659,98 €	2,382%
<b>3 anys</b>	-24.853,91 €	- 22,819%

**Taula 2** VAN i TIR a 3, 5 i 10 anys

Com podem veure amb un interès del 2% i un càlcul a 3, 5 i 6 anys veiem com el VAN ens surt positiu als 5 anys.

El TIR, que ens marca l'interès màxim amb que podem treballar, es troba en 2,38% en arribar als 5 anys i en 9,04% si ho fem a 6 anys.

Amb aquestes dades veiem que en el període inicial de 3 anys aquests vehicles no arriben a compensar la inversió respecte als convencionals. No obstant continua sent una bona inversió perquè com podem veure als 5 anys hem sortit guanyant i així serà fins la retirada del servei.

També cal valorar els aspectes no estrictament econòmics com son el medi ambient, la reducció de soroll, el confort que comporta el seu ús, etc.

## 9. Estudi ambiental

En aquest apartat cal recordar que per part dels empleats el punt més destacat pel que fa a la millora de les condicions laborals es la reducció de la contaminació acústica que assoleix valors molt elevats amb l'ús dels vehicles de combustió.

Els vehicles elèctrics són molt silenciosos fins arribar al punt que poden ser perillosos en segons quines moments, per que la qual cosa tots incorporen avisadors acústics.

Els vehicles elèctrics són molt més eficients que els de combustió interna, això fa que consumeixin menys recursos i si aquests són d'origen renovable no es generin tantes emissions de gasos i partícules.

Descripció (tipus de carburant per vehicle)	Consum de combustible		Factor d'emissió de CO <sub>2</sub>	Emissions de CO <sub>2</sub>
	litres/any o kWh/any	valor	kg CO <sub>2</sub> /litre o kg CO <sub>2</sub> /kWh	tones de CO <sub>2</sub>
Dièsel	litres/any	2.920	2,61	7,62816
Elèctric	kWh/any	10.893	0,300	3,26784

**Taula 3** Emissions de CO2 equivalent [6]

Podem veure a la taula com cada any el vehicle elèctric emet a l'atmosfera gairebé la meitat de tones de CO<sub>2</sub> equivalent respecte d'un vehicle convencional. Només amb aquestes dades ja seria necessari que el vehicle elèctric entres en servei el més aviat possible. També cal dir que si



l'origen de l'electricitat fos d'energies renovables aquesta diferencia encara seria més gran.

## 10. Conclusions

Actualment pel desplaçament de càrregues lleugeres en l'àmbit aeroportuari es disposa d'uns vehicles clarament poc eficients en quant al rendiment energètic es refereix i a més a més utilitzen motors tèrmics amb combustibles fòssils que generen molts problemes mediambientals i de soroll.

Els punts forts del vehicle elèctric són la seva elevada eficiència i les avantatges mediambientals i una rendibilitat demostrada en un període de tant sols 5 anys amb les tecnologies actuals. Això ho podem afirmar després d'haver vist com el TIR a 6 anys ens surt de 9,04%, cosa que implica que si agafem un interès bancari dels mes habituals com pot ser el 5%, en menys de 6 anys recuperarem la inversió. El vehicle s'amortitza amb les diferències tant grans que hi ha en els costos d'operació sobretot en el preu de l'energia i el cost de manteniment.

D'altre banda el seu gran problema són les bateries que en limiten molt l'ús i incrementen molt el seu preu de compra inicial. Amb el pas dels anys això millorarà i a dia d'avui l'autonomia no suposa un problema greu per els vehicles estudiats en el projecte però si per els d'ús particular.

Un últim punt es l'evolució de la mentalitat de les persones, com més conscienciats estiguem del problema que suposa per la nostra salut l'ús de combustibles fòssils i que l'alternativa existeix a dia d'avui i funciona, abans farem que les empreses i les autoritats li parin l'atenció que mereix i introdueixin solucions que milloraran la nostre salut i faran del planeta Terra un lloc millor.

## 11. Agraïments

A Justin d'Aerospecialties, per proporcionar-me tota la informació que ha pogut i encoratjar-me a seguir millorant en el món de l'aeronàutica.

A tots els treballadors de l'aeroport sense els quals hauria estat impossible fer aquest treball i obtenir molta de la informació

A en Pere Andrada Gascón, per acceptar ser el meu tutor i ajudar-me en tot el que ha calgut i més.

A tots el professors de la carrera per portar-me fins aquí

A la família i a amics per aguantar-me durant tants anys, quant em queixava de tot.

## Referencies

- [1] AENA. (Document) **Aena cuida el medioambiente**. Por un transporte aéreo sostenible.
- [2] AENA. (Informe) **Estadísticas de Pasajeros, Operaciones y Carga**. (1999-2013).
- [3] FRAPORT. (Web) **Climate Protection**. Fraport participates in a new e-mobility Project.
- [4] MINISTERIO DE INDUSTRIA I TURISMO. **Informes anuales i mensuales**. Precios de Carburantes.
- [5] COMISION NACIONAL DE LA ENERGIA. **Informes de Supervisión**. Mercado eléctrico.
- [6] GENERALITAT DE CATALUNYA (Oficina del canvi climàtic). **Guia pràctica per el càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH)** (2013).